Sosyal Davranışlar ve İletim: Hayvanlar Aleminde İş Birliği, İletişim ve Fedakârlık

Ders Sunumu

Teradigma

Dersin Kapsamı

- Sembolik ve kimyasal iletişim sistemleri
- Eusosyal kolonilerde iş birliği ve organizasyon
- Fedakârlık (altruizm) olgusunun biyolojik temelleri

İletişim ve Sosyal Davranış: Genel Tablo

Model	Tür	Kanal	Temel Mekanizma
Sallanma Dansı	*Apis mellifera*	Görsel, Titreşimsel	Sembolik Temsil
Ötüş	Ötücü Kuşlar	Akustik	Vokal Öğrenme
Feromonal Ağ	Formicidae	Kimyasal	Sinyal Özgüllüğü
Fedakâr Savunma	Arı, Karınca	Davranışsal	Hamilton Kuralı

Arı Dansı: Dairesel Dans

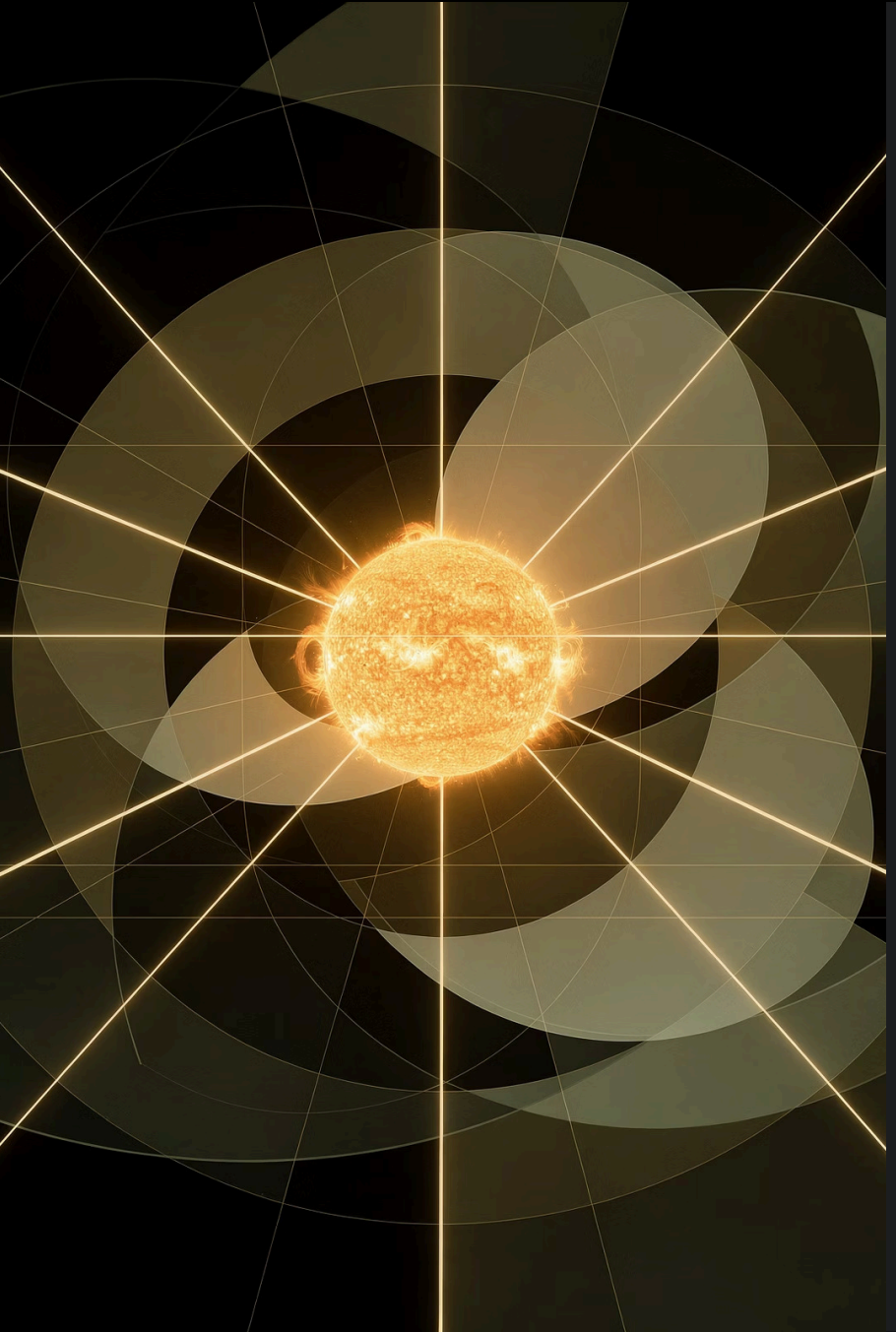
Dairesel Dans (Round Dance) — kaynak kovana 100 metreden yakın olduğunda devreye girer

- Dansçı arı petek üzerinde dar daireler çizer
- Kesin yön veya mesafe bilgisi kodlanmaz
- Kaynağın varlığı, kalitesi ve kokusu iletilir

Arı Dansı: Sallanma Dansı

Sallanma Dansı (Waggle Dance) — uzak mesafeler için, sekiz rakamı biçiminde bir yörüngede icra edilir

- Düz çizginin (waggle run) süresi → mesafe bilgisi
- Düz çizginin dikey eksenle yaptığı açı → yön bilgisi
- Dansın canlılığı ve tekrar sayısı → kalite bilgisi



Yön Bilgisinin Sembolik Kodlanması

Dış dünyadaki yatay vektör bilgisi, kovan içindeki dikey referans sistemine dönüştürülür:

Güneş Yönü

Kaynak güneş yönündeyse → arı dikey olarak yukarı dans eder

Açısal Kodlama

Kaynak güneşin 60° sağındaysa → arı dikey eksenin 60° sağına dans eder

Bu **transposition** eylemi, bir koordinat sisteminden diğerine soyut bir tercüme kapasitesinin işletildiğini göstermektedir.

Arı Dansındaki Hassasiyete Felsefi Not

Güneşin gökyüzündeki hareketi hesaba katılarak dans açısı gün boyunca sürekli güncellenir. Anlık, dinamik bir hesaplama mekanizması bu süreçte çalışmaktadır.

> Peki bu hesaplama sistemi, cansız atomların rastlantısal bir araya gelişiyle nasıl açıklanabilir? Dış dünyadaki geometrik ilişkileri farklı bir referans sistemine tercüme eden bu mekanizma, bir ilim ve irade olmaksızın kodlanabilir mi?

Dans Dili Tartışması

1 Wenner Hipotezi

Wenner ve arkadaşları: birincil yönlendirmenin dansın sembolik bilgisinden değil, dansçı arıya sinmiş **çiçek kokusundan** kaynaklandığını öne sürdü

2 Güncel Görüş

Dans takipçiyi genel bölgeye yönlendirir; koku ipuçları tam hedefin bulunmasında devreye girer

3 Robot Arı Deneyi

Koku taşıyan robot arının dans hareketleriyle diğer arıları belirli hedeflere yönlendirebildiği gösterildi

Dans Hataları ve Bireysel Kalibrasyon

- Özellikle kısa mesafe danslarında önemli bir değişkenlik gözlemlenmiştir
- **Ayarlı hata hipotezi:** bu hassasiyetsizliğin adaptif olduğunu, belirli bir alanı taramayı sağladığını öne sürer
- **Kısıtlama hipotezi:** arıların kısa sallanma sürelerinde fizyolojik/nöral olarak sınırlı olduğunu savunur; güncel veriler bu hipotezi desteklemektedir
- Bireysel kalibrasyon farklılıkları, mesafenin %50'ye varan oranda yanlış yorumlanmasına neden olabilir

Kuş Ötüşü: Yapı ve İşlev

Ötücü kuşların (Passeriformes) şarkıları, belirli kurallara göre düzenlenmiş hiyerarşik bir yapı taşır:

Hiyerarşik Yapı

Notalar → heceleri, heceler → motifleri, motifler → tam şarkıyı oluşturur

Sözdizimsel Paralellik

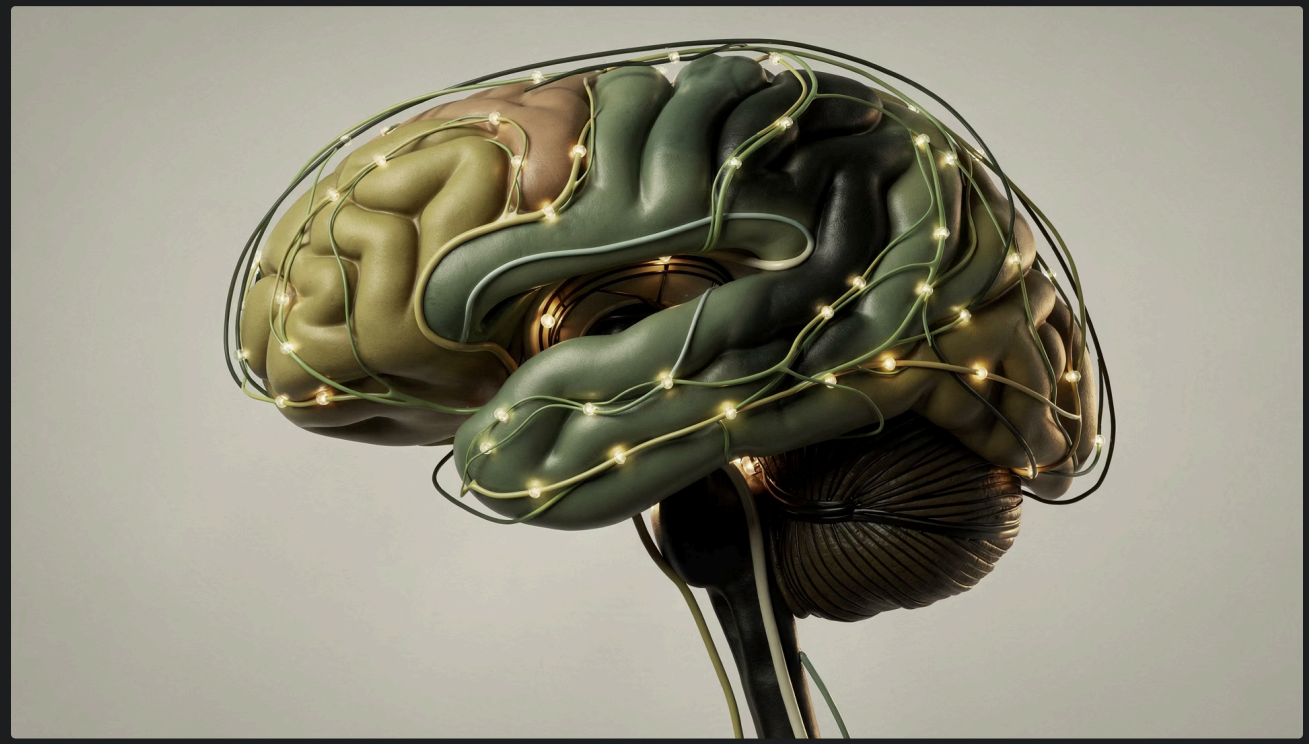
Bu kurallı yapı, dilbilimde **sözdizimi (syntax)** kavramıyla paralellik taşır

İşlevler

Bölge savunması, eş çekme, türiçi tanıma ve tehlike sinyali işlevlerine hizmet eder

Vokal Öğrenme: İki Aşamalı Süreç

Bu öğrenme süreci, ötüşün nesiller arasında kültürel aktarımını ve coğrafi **lehçelerin** oluşmasını sağlar.



Kuş Beynindeki İki Özelleşmiş Yol

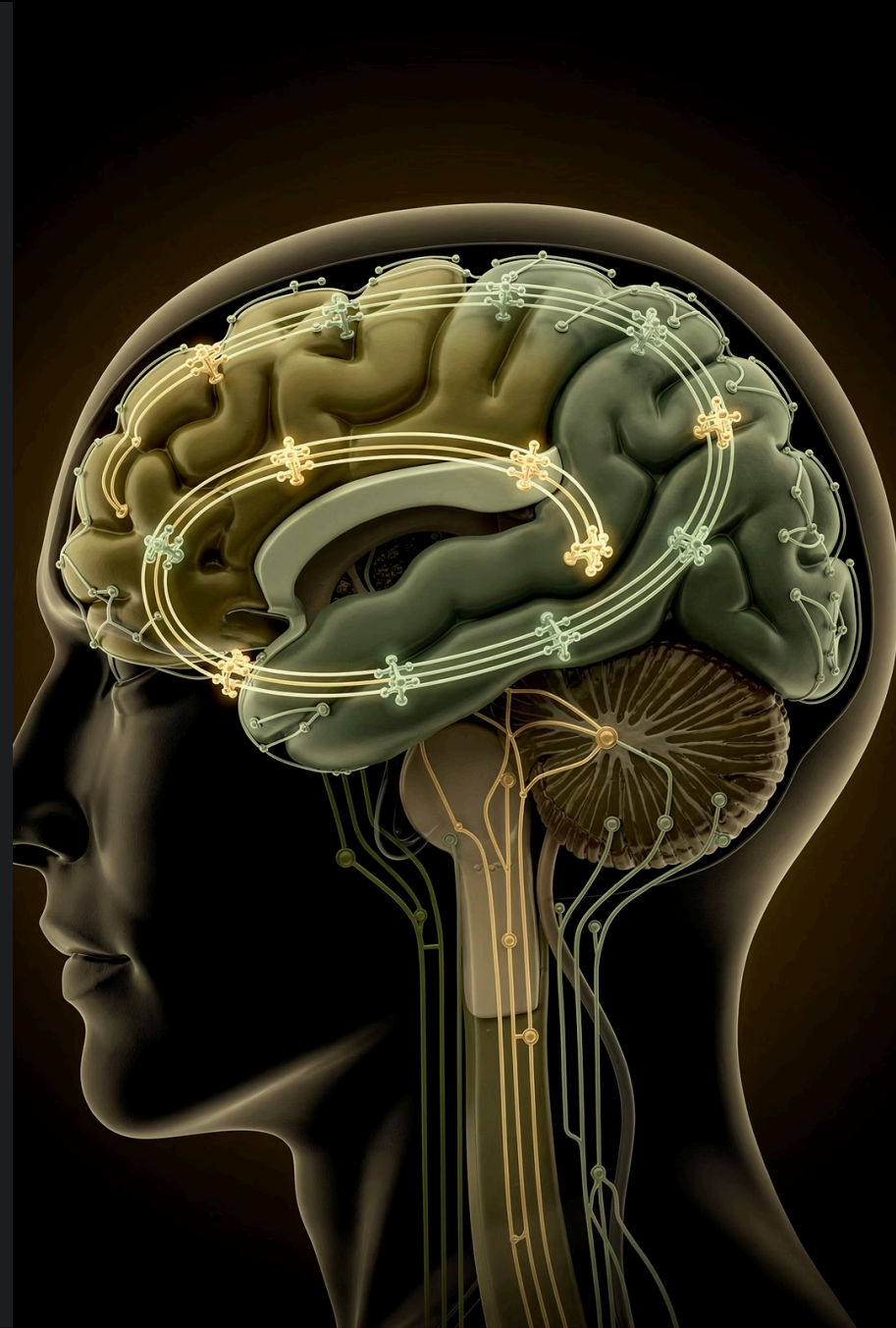
Şarkı Motor Yolu (SMP): Üst merkezlerden beyin sapındaki motor nöronlara uzanır; şarkının fiziksel üretiminden sorumludur. Bu yolun hasarı ötüş yeteneğini ortadan kaldırır.

Ön Beyin Yolu (AFP): Öğrenme, pratik ve hata düzeltmede kritik rol oynar. Genç kuşta hasar, öğrenme sürecini durdurur.

SMP ve AFP'nin Önemi

AFP, işitsel geri bildirimi motor komutlarla karşılaştırarak **hata düzeltme sinyalleri** üreten bir devre olarak çalışır.

Bu iki yolun varlığı ve işlevsel ayrışması, insan konuşma öğrenmesini sağlayan beyin devreleriyle önemli paralellikler taşır.



Karınca Kolonilerinde Kimyasal İletişim

Karıncaların vücudunda çok sayıda salgı bezi bulunur; üretilen karmaşık kimyasal karışımlar koloninin adeta sinir sistemi gibi işlev görür.

İz Feromonları

Kârlı kaynağa giden yolu diğer işçiler için kodlar

Alarm Feromonları

Tehdit anında hızla yayılır; yakındaki yuva arkadaşlarında agresif savunma tepkisi uyarır

Tanıma Feromonları (CHCs)

Her koloniye özgü kütiküler hidrokarbon profiliyle dost-düşman ayrımını sağlar

Kimyasal İletişimin Güvenlik Açığı

Feromonal sinyaller, hedeflenen alıcıların ötesinde istenmeyen alıcılar tarafından da algılanabilir:

- Avcı ve parazitoid türler, iz/alarm feromonlarını **dinleyerek (eavesdropping)** av veya konak bulur
- Sosyal parazit türler ve mirmekofiller, konak koloninin CHC profilini kimyasal olarak taklit ederek (**kimyasal kamuflaj**) yuvaya sızar

⚠ Bir iletişim sisteminin yapısı, sinyal verimliliğiyle birlikte sömürüye karşı direncini de belirler.

Eusosyallik: Kolektif Yaşamın Üç Koşulu

Eusosyallik, hayvanlar alemindeki en yüksek sosyal organizasyon düzeyini ifade eder. E.O. Wilson'ın öncülüğündeki çalışmalar üç temel özelliği ortaya koymuştur:

1

İşbirlikçi Yavru Bakımı

Yavrular kolektif olarak beslenir, temizlenir ve korunur

2

Nesillerin Bir Arada Bulunması

Yavru nesil erginliğe ulaşınca yuvada kalarak yardım eder

3

Üreme İş Bölümü (Kast Sistemi)

Üreme kraliçeyle sınırlıdır; işçi ve asker kastları kısır ya da üreme potansiyeli baskılanmış bireylerden oluşur

Süperorganizm a Kavramı

Bu üç koşul bir araya geldiğinde, koloni bireylerin toplamının ötesine geçer; tek bir entegre varlık olarak işlev görür.

Bireysel böcekler, çok hücreli bir canlının hücreleri gibi özelleşmiş görevleri yerine getirir. Binlerce bireyin, tek tek sahip olmadıkları bir organizasyon düzeyinde bir araya getirilmesi, tasarımın hammaddede değil bütünde tezahür ettiğini göstermektedir.

Fedakârlık (Altruizm) Paradoksu

Biyolojik bağlamda **altruizm**: bir bireyin kendi üreme başarısını azaltma pahasına başka bir bireyin üreme başarısını artıran davranış.

- Kovanını savunurken iğnesini batıran ve ölen bal arısı
- Yuvasını korumak için kendini feda eden karınca
- Alarm çağrısıyla kendini tehlikeye atan sincap

Bu davranışlar, ilk bakışta bireyin kendi genlerini aktarma olasılığını azalttığı için paradoks oluşturur.

Kapsayıcı Uygunluk: Hamilton'ın Çözümü

W.D. Hamilton (1964), seçilimin birey düzeyinde değil **gen düzeyinde** işlediğini ortaya koydu.

Bu iki bileşenin toplamı **kapsayıcı uygunluk (inclusive fitness)** olarak tanımlanır.

Doğrudan Uygunluk

Bireyin kendi yavruları aracılığıyla gen aktarımı

Dolaylı Uygunluk

Akrabaların üremesine yardımla, paylaşılan genlerin dolaylı aktarımına katkı

Hamilton Kuralı

$$rB > C$$

r — Akrabalık Katsayısı

Aktör ile alıcı arasındaki genetik akrabalık katsayısı (tam kardeşler ve ebeveyn-yavru arasında $r = 0.5$)

B — Fayda

Fedakâr davranışın alıcının üreme başarısına katkısı

C — Maliyet

Fedakâr davranışın aktörün üreme başarısına maliyeti

Akrabalıkla ağırlıklandırılmış fayda maliyeti aştığında, fedakârlığı kodlayan genetik eğilimler popülasyonda yayılır.

Haplodiploidi ve Hamilton Kuralının Öngörü Gücü

Hymenoptera'da (arı, karınca, yaban arısı) özel bir üreme sistemi işlemektedir:

01

Haploid / Diploid Ayrımı

Erkekler haploid, dişiler diploid yumurtadan gelişir

02

Yüksek Akrabalık Katsayısı

Aynı babadan gelen dişi kardeşler arasındaki akrabalık katsayısı: $r = 0.75$

03

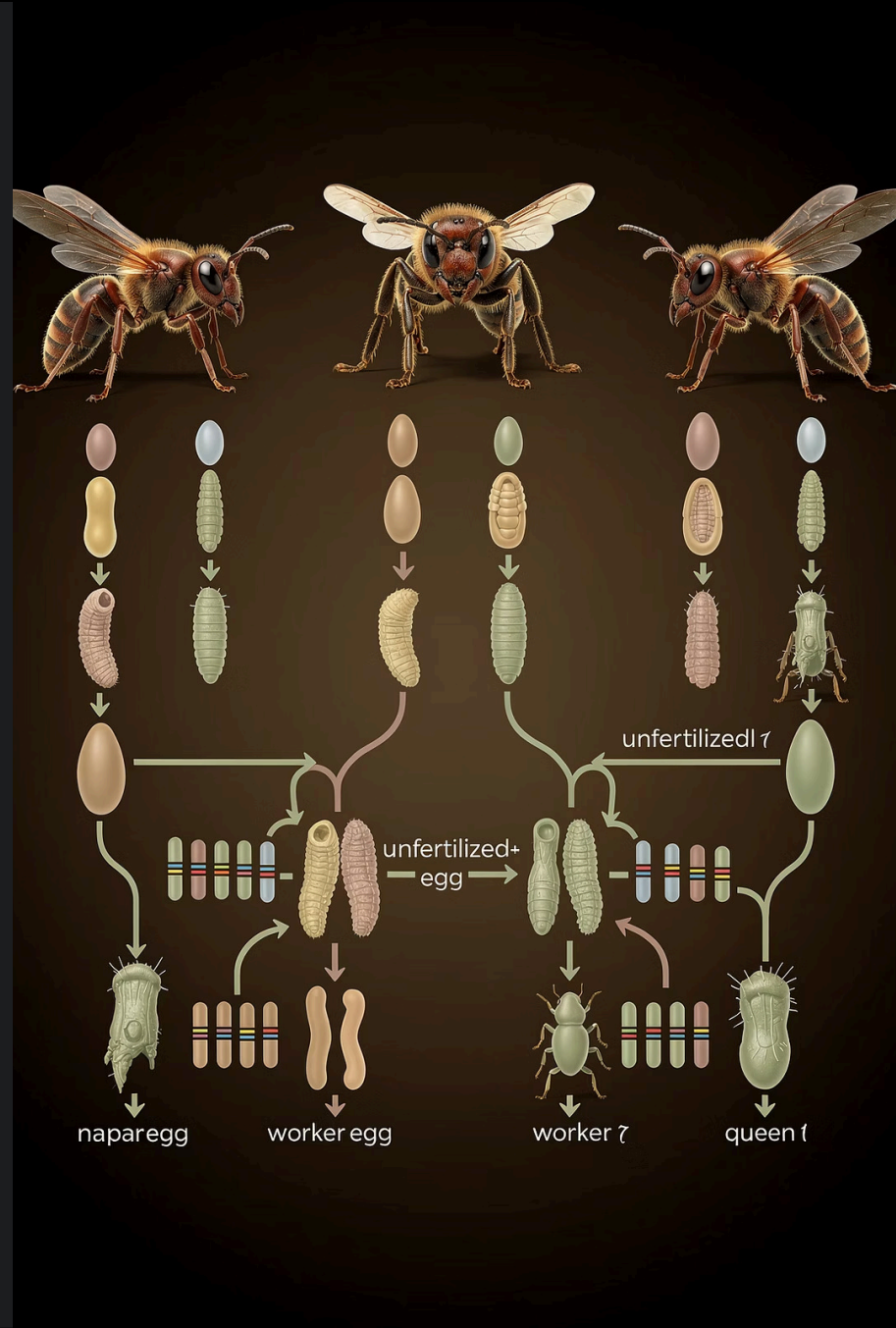
Genetik Hesap

Bir işçi dişi, kendi yavrularıyla $r = 0.5$, kız kardeşleriyle $r = 0.75$ gen paylaşır

04

Sonuç

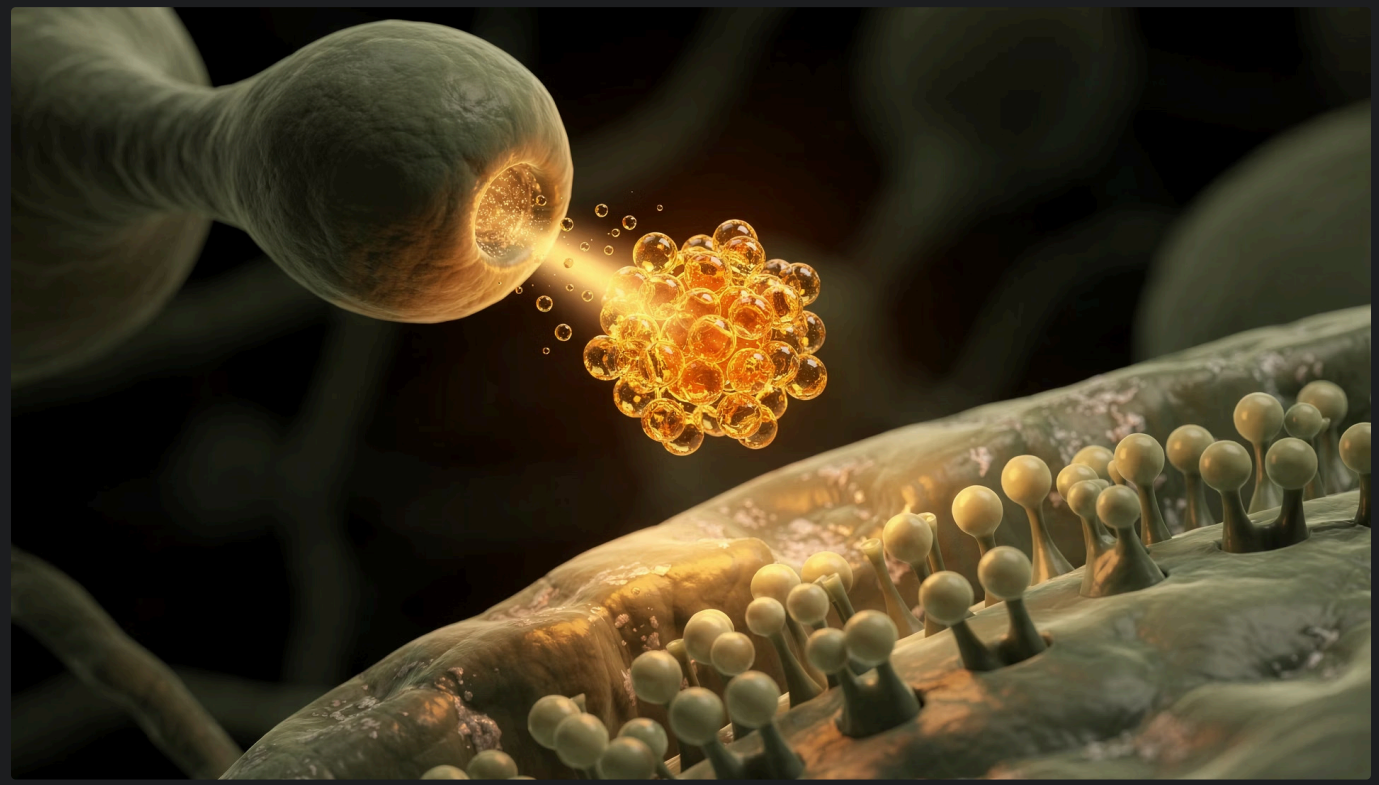
Hamilton Kuralı'na göre kendi üremesinden vazgeçip kraliçeye yardım etmek **genetik olarak daha kârlı** bir stratejidir; bu da kısır işçi kastlarının neden bu grupta bu denli sık görüldüğünü açıklar



Fedakârlıkta Matematiksel Bir Mantık

Fedakârlık, bireysel düzeyde kayıp gibi görünse de kapsayıcı uygunluk düzeyinde kazanca dönüşür.

Bu sistemin altında yatan matematiksel mantık kendiliğinden ortaya çıkmaz; r, B ve C değerlerinin uyumlu biçimde kodlanmış olması, hem genetik yapıyı hem de davranışsal programları birlikte kuşatan bir tasarımın varlığına işaret eder.



Arı Dansının Nörobiyolojisi: Oktapamin

Oktapamin, dans davranışını modüle eden bir biyojenik amindir:

- Yüksek kaliteli kaynak bulan arının beynindeki oktapamin düzeyi artar
- Bu artış, dans etme olasılığını, süresini ve canlılığını uyarır
- **Dopamin** ise zıt yönde etki göstererek arıyı bilinen kaynağa dönmek yerine diğer arıların danslarını takip etmeye yönlendirir

Arı Dansının Nörobiyolojisi: Antenler ve Merkezi Kompleks

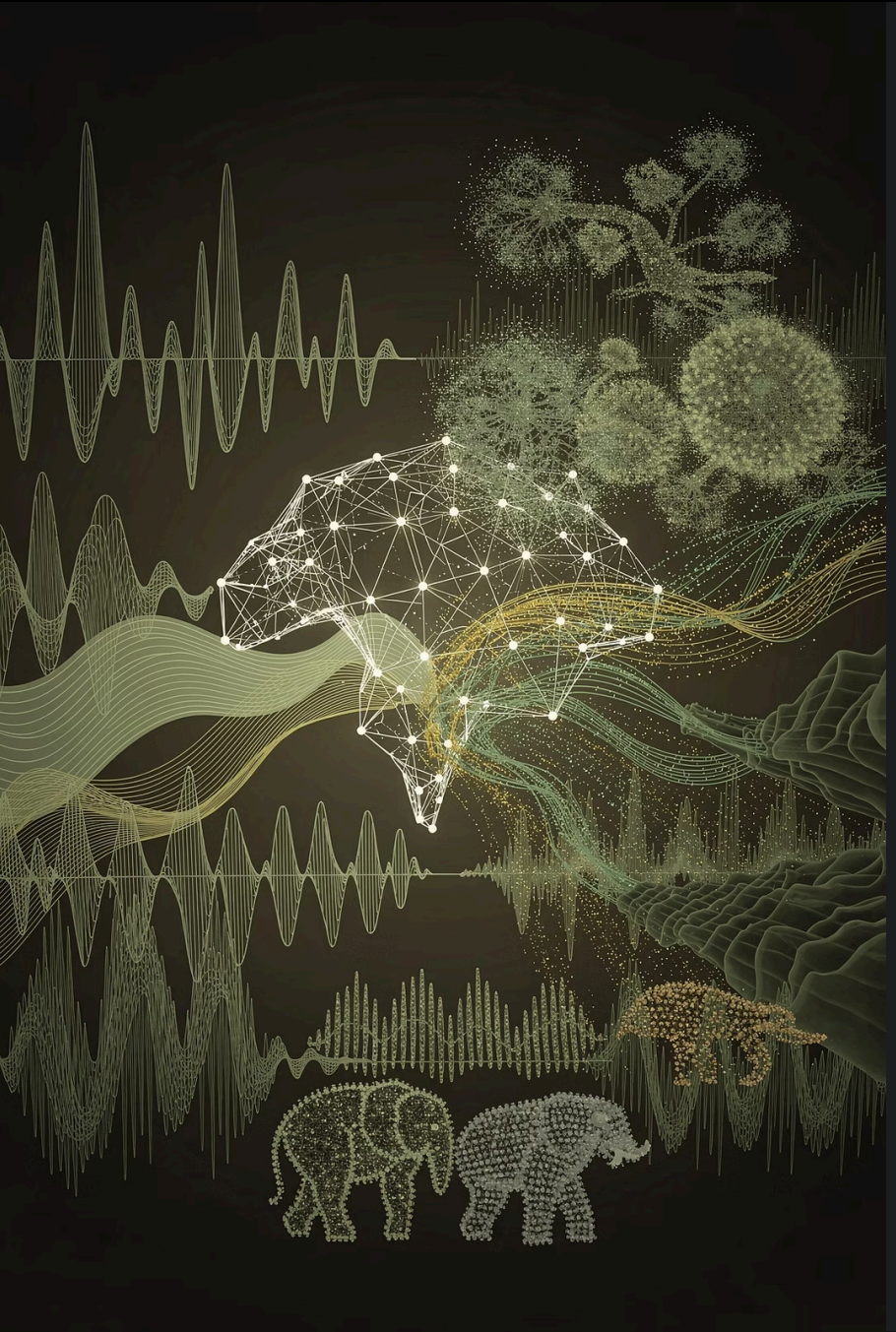
Yüksek hızlı kızılötesi video kayıtları ve modelleme çalışmaları şu bulguyu ortaya koymuştur:

Anten Kalibrasyonu

Takipçi arı, antenlerini dansçı arının vücut açısına göre hassas biçimde ayarlar

Merkezi Kompleks

Bu bilgi beyindeki **merkezi kompleks (central complex)** adı verilen bölgedeki vektör işleme devreleri tarafından bir uçuş rotasına dönüştürülür



Yapay Zeka ile Hayvan İletişiminde Yeni Bulgular

Makine öğrenmesi algoritmaları, insan gözleminin ötesindeki kalıpları tespit ederek yeni bulgular üretmiştir:

Afrika Filleri

Taklit temelli olmayan, kendilerine özgü **bireysel isimler** kullanarak birbirlerine seslenir

Yarasalar

Vokalizasyonları; kimlik, muhatabın kimliği ve konuşma içeriğini kodlar

Çıplak Kör Fareler

Her koloniyle özdeşleşen **kendine özgü bir aksan** geliştirdiği gösterildi

Kediler

276 farklı yüz ifadesi kullandığı belgelendi

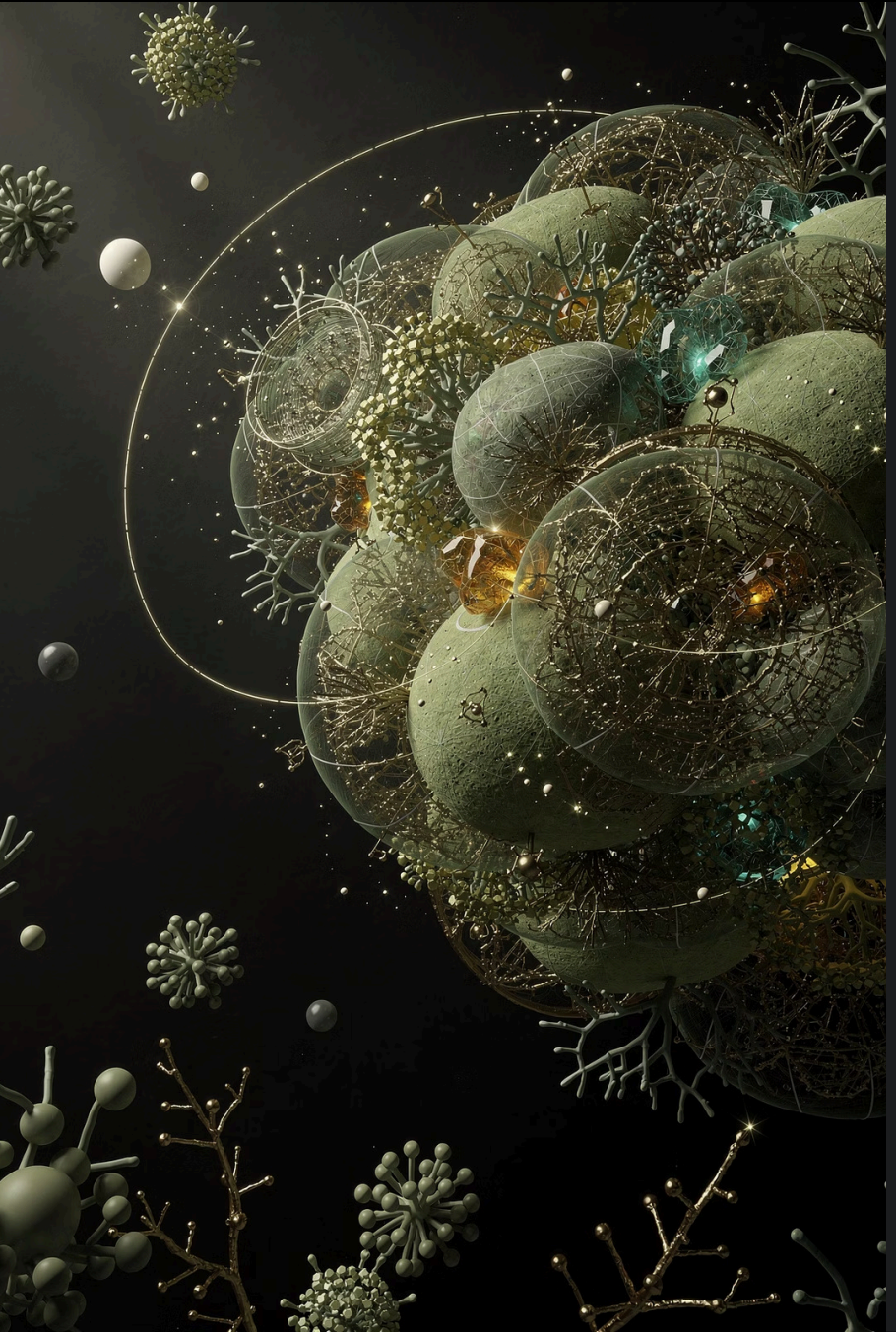
EVRENSEL DAVRANIŞSAL MİMARİ. Her üç tür de **azalan tehlike fosnksiyonunu** paylaşır: bir davranışta daha uzun süre kalmak, ondan ayrılma olasılığını azaltır; matematiksel model, ekolojik olarak farklı türler arasında tekrarlanır.

Davranış Diziliminde Evrensel Mimari

Meerkat (Kalahari), koati (Panama) ve sırtlan (Kenya) üzerinde yürütülen karşılaştırmalı araştırma çarpıcı bir ortaklık ortaya koydu:

- Bir davranışta geçirilen süre uzadıkça, o davranıştan ayrılma olasılığı azalır
- Bu **azalan tehlike fonksiyonu**, ekolojik açıdan birbirinden çok farklı türlerde tekrar eder

Davranışsal geçişlerin matematiksel olarak modellenebilen bu evrensel mimarisi, canlı davranışının rastgele tepkilerden ibaret olmadığını; temel bir **işletim mantığına** göre düzenlendiğini göstermektedir.

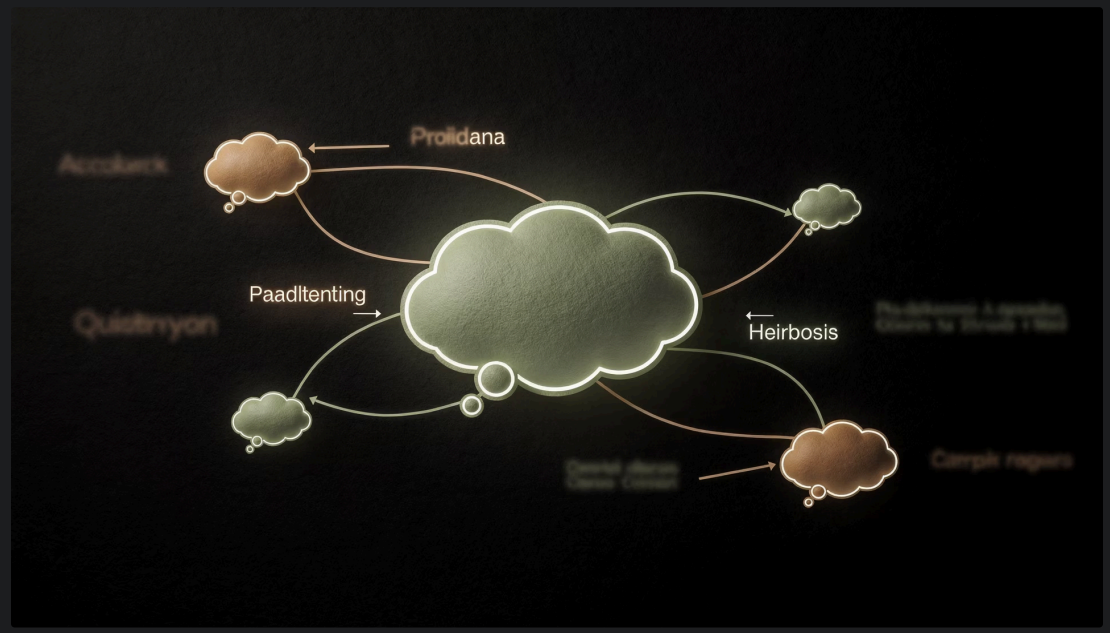


Hammadde ve Sanat Ayrımı

Tek bir nöronun melodi öğrenme yeteneği yoktur. Tek bir karıncanın koloni zekası yoktur. Tek bir arıda güneş-yerçekimi vektör hesabı bulunmaz.

Oysa bu bileşenlerden, kendilerinde bulunmayan özelliklere sahip sistemler inşa edilmiştir: öğrenen bir kuş beyni, kolektif savunma yapan bir süperorganizma, astronomik hesabı kovan içine tercüme eden bir dans mekanizması.

> Hammaddede bulunmayan bu özellikler bütüne nereden gelmiştir?



İndirgemeci Dil ve Nedensellik Sorunu

⚠ **"Akraba seçilimi fedakârlığı destekledi"** ifadesi, bir süreci fail gibi sunar. Oysa akraba seçilimi bir karar verici değil; $rB > C$ koşulu sağlandığında gerçekleşen sürecin adıdır.

⚠ **"Oktapamin motivasyonu artırdı"** ifadesi, bir moleküle irade atfeder. Gerçekte oktapamin, daha büyük bir nöral sistemde belirli bir sinyali iletmek üzere vazifelendirilmiş bir araçtır.

Bir sürece isim vermek, o sürecin ardındaki faili ve planı açıklamaz; yalnızca onu kategorize eder.

Sentez: Nizam, Gaye ve Tasarım

Bu derste incelenen tüm sistemler — arı dansındaki astronomik hassasiyet, kuş beynindeki SMP/AFP mimarisi, koloninin kimyasal sinir ağı, fedakârlığın matematiksel mantığı — ortak bir özelliği paylaşır:

Belirli Bir Amaca Hizmet

Belirli bir amaca hizmet edecek şekilde düzenlenmiş yapılar

Bileşenlerin Ötesinde Nitelikler

Bileşenlerinin ötesinde niteliklere sahip, hassas ve sanatlı bir yapı

> Cansız bileşenlerin, kendilerinde bulunmayan bir planı takip ederek bu nizamı üretmesi; ilim, irade ve kudret sahibi bir düzenleyicinin varlığını akla getiren güçlü bir işarettir.